



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 100 54 503 A 1

⑤1 Int. Cl.⁷:
G 02 B 5/18
B 44 F 1/12

②1 Aktenzeichen: 100 54 503.3
②2 Anmeldetag: 3. 11. 2000
④3 Offenlegungstag: 6. 6. 2002

DE 100 54 503 A 1

⑦1 Anmelder:
OVD Kinegram AG, Zug, CH

⑦4 Vertreter:
LOUIS, PÖHLAU, LOHRENTZ & SEGETH, 90409
Nürnberg

⑦2 Erfinder:
Tompkin, Wayne Robert, Baden, CH; Staub, René,
Cham, CH; Schilling, Andreas, Neuchâtel, CH

⑤6 Entgegenhaltungen:

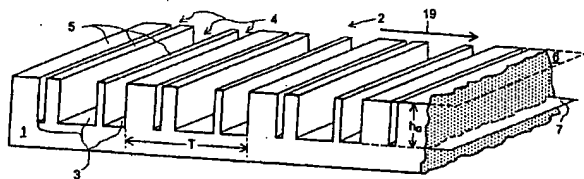
DE	44 19 038 A1
DE	40 07 968 A1
DE	32 06 062 A1
DE	31 17 092 A1
US	58 25 547
US	48 32 445
EP	07 12 012 A1
EP	06 60 139 A1
EP	03 60 969 A1
WO	98 10 324
JP	04-1 78 601 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Lichtbeugende binäre Gitterstruktur

⑤7 Eine lichtbeugende binäre Gitterstruktur weist eine mikroskopische Mesastruktur (2) auf, deren Hochebenen (5) durch Täler (4) mit einem im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt getrennt sind, wobei sich die Anordnung der Täler (4) periodisch wiederholt. Innerhalb einer Periode (T) der Mesastruktur (2) trennen wenigstens N Täler (4) die Hochebenen (5), wobei N eine ganze Zahl und größer als 2 ist. Die Mesastruktur (2) ist eine additive Überlagerung von N phasenverschobenen Rechteckstrukturen, die dieselbe Periode (T) der Mesastruktur (2) aufweisen. Jede der Rechteckstrukturen besitzt eine Phasenverschiebung, so dass die Hochebenen (5) der einen Rechteckstruktur in die Täler (4) der N-1 anderen Rechteckstruktur fallen. Außerdem besitzt die resultierende Mesastruktur (2) nur ein einziges Tal zwischen zwei Hochebenen (5), das eine Weite größer als ein Siebtel der Periode (T) aufweist. Die binären Gitterstrukturen eignen sich für die Verwendung in optisch diffraktiven Sicherheitselementen, da die binären Gitterstrukturen mit holographischen Mitteln nicht zu kopieren sind.



DE 100 54 503 A 1

- [0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine lichtbeugende binäre Gitterstruktur und deren Verwendung gemäss den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 15.
- 5 [0002] Solche Gitterstrukturen zeichnen sich durch eine hohe Beugungseffizienz und eine ausgeprägte Asymmetrie und Polarisation des gebeugten Lichts aus und eignen sich für die als visuelle Sicherheitsmerkmale bekannten Flächenmuster aus einem Mosaik von mit diffraktiven Strukturen belegten Flächenelementen.
- [0003] Diese Sicherheitsmerkmale dienen als schwer zu fälschendes Echtheitsmerkmal für wertvolle Gegenstände, Dokumente, Ausweise, Banknoten usw. und sind z. B. in der EP 0 105 099 B1 beschrieben. Die Flächenelemente der Si-
- 10 [0003] cherheitsmerkmale weisen periodische diffraktive Gitterstrukturen mit vorbestimmten Gitterparametern, wie Profil, Spatalfrequenz und azimutale Orientierung usw., derart auf, dass sich der Anblick des beleuchteten Sicherheitsmerkmals beim Drehen und/oder Kippen in Farbe und Muster vorbestimmt ändert. Sind in benachbarten Flächenelementen entgegengesetzt ausgerichtete asymmetrische Gitterstrukturen angeordnet, wie dies z. B. aus EP 0 360 969 A1 bekannt ist, vertauschen sich beim Drehen des Substrats um 180° die von einem Beobachter wahrgenommenen Intensitäten der Flä-
- 15 chenelemente.
- [0004] Eine einfache binäre Gitterstruktur und deren Verwendung für ein Sicherheitsmerkmal zeigt die DE 32 06 062 A1. Die binäre Gitterstruktur weist als Profil eine Struktur auf, die einer einfachen periodischen Rechteckfunktion folgt. Das Tastverhältnis der Rechteckfunktion, d. h. das Verhältnis der Breite des Tales zur Länge der Periode der Rechteckstruktur, ist konstant und weist den Wert 50% auf, damit das gebeugte Licht die grösste Farbsättigung erhält.
- 20 [0005] Eine Weiterentwicklung des Sicherheitsmerkmals mit binären Gitterstrukturen beschreibt die EP 0 712 012 A1. Ein Flächenelement des Sicherheitsmerkmals ist mit einer periodischen Rechteckstruktur belegt. Ueber das Flächenelement hinweg ändert sich das Tastverhältnis der Rechteckfunktion kontinuierlich von einem maximalen zu einem minimalen Wert, so dass bei einer Beleuchtung des Flächenelements der Grad der Farbsättigung in einem Bereich innerhalb des Flächenelements ein Maximum erreicht. Weiter sind nicht periodische Rechteckstrukturen gezeigt, die mit willkür-
- 25 lich gewählten Abmessungen der Tiefe und der Breite zu einer Beugungsstruktur angeordnet sind, um die Fälschungssicherheit der Sicherheitselemente zu erhöhen. Allerdings ist das resultierende Muster sehr komplex und von einem Beobachter schwer als das echte Sicherheitselement zu identifizieren.
- [0006] Aus der US 4'846'552 ist ein Elektronenstrahl - Lithographie Verfahren zur Herstellung binärer Gitterstrukturen für fokussierende optische Elemente bekannt. Auch bei den einfachen Rechteckstrukturen mit dem Tastverhältnis
- 30 50% lassen sich durch eine geschickte Wahl der Tiefe der Struktur, z. B. 25% der Periodenlänge der Rechteckstruktur hohe Beugungswirkungsgrade für linear polarisiertes Licht erreichen. Die Wichtigkeit der binären Gitterstrukturen liegt in der Tatsache begründet, dass sie mit grosser Genauigkeit hergestellt und durch Abformen vervielfältigt werden können.
- [0007] Die oben genannten einfachen Rechteckstrukturen lassen sich mit holographischen Mitteln kopieren, wobei bei
- 35 einer Kopie der symmetrischen Rechteckstruktur mit dem Tastverhältnis von etwa 50% nur eine geringe Einbusse des Beugungswirkungsgrades auftritt. Der Beugungswirkungsgrad der Kopie verschlechtert sich, je asymmetrischer die Rechteckstruktur ist. Ein Flächenelement mit der Rechteckstruktur, deren Tastverhältnis sich gemäss EP 0 712 012 A1 längs einer vorbestimmten Richtung kontinuierlich ändert, weist in der Kopie anstelle der sich ändernden Farbsättigung eine Veränderung der Intensität der gebeugten Farbe auf. Da eine sich ändernde Farbsättigung von einer sich ändernden
- 40 Farbsättigung ohne Referenz zu einem echten Sicherheitselement visuell schwierig zu unterscheiden ist, kann eine unautorisierte Kopie des Sicherheitselements nicht sofort erkannt werden.
- [0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Gitterstruktur zu schaffen, die sich für die Verwendung in optisch diffraktiven Sicherheitselementen eignet, die aufwendig zu erzeugen, schwer zu kopieren und kostengünstig zu vervielfältigen ist.
- 45 [0009] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die in den Kennzeichen der Ansprüche 1 und 15 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.
- [0010] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.
- [0011] Es zeigen:
- 50 [0012] Fig. 1 eine Ansicht auf eine binäre Gitterstruktur,
- [0013] Fig. 2a-c Querschnitte durch ein Laminat mit der Gitterstruktur,
- [0014] Fig. 3a-c Rechteckstrukturen,
- [0015] Fig. 4 eine Mesastruktur,
- [0016] Fig. 5a-c Beispiele der Mesastrukturen,
- 55 [0017] Fig. 6a + b Flächenmuster mit der Mesastruktur nach Fig. 5a,
- [0018] Fig. 7a-c die Flächenmuster mit der Mesastruktur nach Fig. 5b,
- [0019] Fig. 8a-c die Flächenmuster der Fig. 7a-c um 180° gedreht,
- [0020] Fig. 9a-c die Flächenmuster mit der Mesastruktur nach Fig. 5c,
- [0021] Fig. 10a-c die Flächenmuster der Fig. 9a-c um 180° gedreht,
- 60 [0022] Fig. 11 eine andere Ausführung des Flächenmusters und
- [0023] Fig. 12 eine zweidimensionale Mesastruktur.
- [0024] Ein in der Fig. 1 dargestellter Ausschnitt aus einer periodischen binären Gitterstruktur weist eine in ein flaches Substrat 1 abgeformte mikroskopisch feine Profilform einer Mesastruktur 2 auf. Von der Oberseite des Substrats 1 sind Talböden 3 von Tälern 4 abgesenkt. Sie unterteilen die Oberfläche in Hochebenen 5 der Mesastruktur 2, wobei die Täler
- 65 4 einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt aufweisen. Wenigstens drei Täler 4 und drei Hochebenen 5 bilden eine Periode T der Mesastruktur 2. Die Hochebenen 5 liegen in der Ebene 6 der Oberfläche des Substrats 1. Die Talböden 3 definieren eine zur ersten Ebene 6 parallele, um eine Profilhöhe h_G von der Oberfläche des Substrats 1 abgesenkte zweite Ebene 7. Solche Gitterstrukturen mit nur zwei Ebenen 6, 7 werden auch binäre Gitterstrukturen genannt. Die Täler 4 tren-

nen die Hochebenen 5, dass innerhalb der Periode T keine weitere Periodizität tritt.

[0025] Die periodische binäre Gitterstruktur beugt elektromagnetische Strahlung. Für visuell zu beurteilende Sicherheitsmerkmale ist die Länge der Periode T und die optisch wirksame Profilhöhe h der Gitterstruktur der Wellenlänge λ des sichtbaren Lichts anzupassen, dessen Spektrum der Wellenlängen λ sich im Bereich $380 \text{ nm} < \lambda < 780 \text{ nm}$ erstreckt. Die Periode T weist beispielsweise einen Wert aus dem Bereich für T von 250 nm bis 10'000 nm auf. Für "Zero Order"-Mikrostrukturen gilt die Bedingung $\lambda/T \geq 1$. Bei den "Zero Order"-Mikrostrukturen sind alle Beugungsordnungen ausser der nullten unterdrückt. Unter der Bedingung $\lambda/T < 1$ hingegen wird das auf die binäre Gitterstruktur einfallende Licht auch in höhere Beugungsordnungen gebeugt.

[0026] Die Profilhöhe h der Täler 4 ist konstant. Die mikroskopische Mesostruktur 2 ist optisch wirksam und weist parallele gerade, mäanderförmige oder gekrümmten Täler 4 und Hochebenen 5 auf. Die Mesostruktur 2 ist als periodische Gitterstruktur durch ihre Parameter, einen Azimutwinkel w relativ zu einer ausgezeichneten Richtung, die Periode T bzw. Spatalfrequenz $f = 1/T$, eine Profilform der Mesostruktur 2, eine Profilhöhe h beschrieben. Die geometrische Profilhöhe h_g innerhalb der Mesostruktur 2 ist nicht mit der optisch wirksamen Profilhöhe h zu verwechseln. Füllt ein transparentes Material mit einem Brechungsindex $n > 1$ die Täler 4 auf, wird als Profilhöhe h die mit dem Brechungsindex n multiplizierte geometrische Profilhöhe h_g optisch wirksam. Die optisch wirksame Profilhöhe h ist aus dem Bereich 25 nm bis 5'000 nm gewählt, wobei Vorzugswerte der Profilhöhe h z. B. im unteren Bereich bis zu einem Viertel der Wellenlänge, $\lambda/4$, liegen.

[0027] Weist das hier dargestellte Substrat 1 die negative Profilform der Mesostruktur 2 auf, eignet sich das Substrat 1 zum Abformen der Mesostruktur 2 in Kunststoff oder zum Prägen von sehr weichem Metall (Ag, Al, Au, Cu usw.). Dies erlaubt eine kostengünstige Vervielfältigung der Mesostruktur 2. Härtere Metalle, wie Stahl, Kupfer-Nickel-Legierungen für Münzen usw., sind durch ein an sich bekanntes, Metall abtragendes Verfahren zu strukturieren.

[0028] Die Fig. 2a bis 2c zeigen Querschnitte durch verschiedene Lamine 8 eines Sicherheitselementes mit der Mesostruktur 2. In der Fig. 2a ist die Mesostruktur 2 in eine Basisfolie 9 aus glasklarem oder transparentem Kunststoff abgeformt. In einer Verarbeitungsmethode ist die rohe Basisfolie 9 vor dem Abformen der Mesostruktur 2 einseitig mit einer wenigstens transparenten thermoplastischen Lackschicht 10 überzogen. In die Lackschicht 10 wird die Mesostruktur 2 abgeformt. In einer kostengünstigen Ausführung ist die Lackschicht 10 bereits vor dem Abformen mit einer metallischen oder dielektrischen Reflexionsschicht 11 abgedeckt. Bei einer anderen Abformmethode ist die Basisschicht 9 mit der mittels ultraviolettem Licht härtbaren, transparenten Lackschicht 10 überzogen. Die Matrize der Mesostruktur 2 wird während des Härtungsvorgang in die noch weiche, noch leicht verformbare Lackschicht 10 abgeformt. Bei beiden Methoden ist die Dicke der Lackschicht 10 grösser als die Profilhöhe h_g (Fig. 1). Falls die Basisschicht 9 nur als Träger für die Lackschicht 10 dient, um ein sehr dünnes Laminat 8 herzustellen, ist zwischen der Basisfolie 9 und der Lackschicht 10 eine durch die gestrichelte Linie 12 in der Darstellung der Fig. 2a angedeutete Trennschicht ausgebildet. Die Trennschicht ermöglicht nach dem Aufbringen des Sicherheitselementes auf eine Unterlage das Entfernen der Basisfolie 9. Nach dem Härten wird die metallische oder dielektrische Reflexionsschicht 11 aufgebracht. Der durch die Reflexionsschicht 11 erzeugte Sprung im Brechungsindex n macht eine Grenzfläche 14 mit der Mesostruktur 2 optisch wirksam. Auf die Abformseite wird anschliessend eine die Täler verfüllende Schutzschicht 13 aufgetragen. Die freie Oberfläche der Schutzschicht 13 wird anschliessend mit einer Klebeschicht 15 ausgerüstet oder das Material der Schutzschicht 13 ist selbst ein Kleber. Das Sicherheitselement ist durch die über der Mesostruktur 2 angeordneten Schichten 9, 10 hindurch sichtbar. Sind sowohl die Reflexionsschicht 11, die Schutzschicht 13 und die allfällige Klebeschicht 15 transparent, ist das Sicherheitselement transparent und eignet sich zum Schützen von individuellen Indicia auf einem Dokument. Die Indicia bleiben durch das auf das Dokument aufgeklebte Sicherheitselement hindurch sichtbar.

[0029] Das transparente Material ist optisch klar und lässt das ganze Spektrum des sichtbaren Lichts (= glasklares Material) oder nur gewisse Spektralbereiche desselben (= farbiges Material) durch.

[0030] Das Laminat 8 in der Fig. 2b zeigt eine weitere Anordnung einer Deckschicht 16 und einer Basisschicht 17, deren gemeinsame Grenzfläche 14 die Mesostruktur 2 (Fig. 1) definiert. Die Materialien der beiden Schichten 16, 17 unterscheiden sich in ihren Brechungsindizes n_1, n_2 und bewirken ebenfalls einen die Mesostruktur 2 definierenden Sprung Δn im Brechungsindex. Damit die Mesostruktur 2 optisch wirksam und gebeugtes Licht visuell erkennbar ist, muss an der gemeinsamen Grenzfläche 14 der Sprung $\Delta n = n_1 - n_2 > 0.1$ sein. Die beiden Schichten 16, 17 sind in einer Ausführung zwei transparente Kunststoffe. In einer anderen Ausführung ist die Basisschicht 17 das metallische Substrat 1 (Fig. 1), das mit der transparenten, die Täler 4 verfüllenden Deckschicht 16 aus Kunststoff ausgerüstet ist.

[0031] In der Ausführung links in der Fig. 2b überdeckt die Kunststoffschicht 16 auch die Hochebenen 5, während in der Ausführung rechts die Kunststoffschicht 16 nur gerade die Täler 4 verfüllt. Die gemeinsame, die Mesostruktur 2 (Fig. 1) definierende Grenzfläche 14 zwischen der Metalloberfläche des Substrats 1 und der Kunststoffschicht weist eine hohe Beugungseffizienz E auf. Bei einer Anwendung der rechts in Fig. 2b gezeigten Ausführungsform des Laminats 8 ist die Schicht 17 eine Kupfer-Nickel-Legierung, wie sie zum Beispiel für Münzen verwendet werden, in deren Oberfläche die Mesostruktur 2 durch Materialabtrag, z. B. mittels Ätzen oder intensivem Laserlicht, eingearbeitet ist.

[0032] Fabrikatorisch bedingt, weisen die Querschnitte der Täler 4 kleine Abweichungen von der idealen Rechteckform auf. Die Fig. 2c zeigt einen Ausschnitt des Laminats 8 (Fig. 2a). Die durch die Grenzfläche 14 zwischen den Schichten 16, 17 definierten Seitenwände 18 der Täler 4 sind derart V-förmig geneigt, dass die Täler 4 trapezförmige Querschnitte aufweisen. Zudem sind die Kanten mit grosser Wahrscheinlichkeit verrundet, was aus zeichnerischen Gründen in der Fig. 2c nicht dargestellt ist. Im Gegensatz zur Darstellung in der Fig. 2c sind allerdings in der Praxis die Abweichung von den reinen Rechteckformen der Mesostruktur 2 so klein, dass die Querschnitte als im wesentlichen rechteckförmig zu betrachten sind.

[0033] Die Mesostruktur 2 in der Fig. 1 wird durch eine Rechteckfunktion $M(x)$ (Fig. 4) längs eines Weges x in der Richtung eines Pfeils 19, der parallel zur Ebene 6 und senkrecht zu den Tälern 4 gerichtet ist, beschrieben.

[0034] Die Fig. 3a bis 3c und 4 zeigen als Beispiel die periodischen Rechteckfunktionen $R1(x)$, $R2(x')$, $R3(x'')$ und $M(x)$, die über zwei aufeinander folgenden Perioden T längs des Weges x, x' oder x'' dargestellt sind. Die Rechteckfunktion $M(x)$ entsteht aus einer additiven Überlagerung von wenigstens drei phasenverschobenen Rechteckstrukturen

$R_1(x)$, $R_2(x)$, $R_3(x)$ der Periode T der Mesastruktur 2. Die Rechteckstrukturen $R_1(x)$, $R_2(x)$, $R_3(x)$ erhalten bei der Summierung zu $M(x)$ gegeneinander eine Phasenverschiebung $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ derart, dass die Hochebene 5 der einen Rechteckstruktur in die Täler 4 der $N-1$ anderen Rechteckstrukturen fallen. Diese Bedingung sichert der Summenfunktion $M(x)$ die binäre Gitterstruktur.

- 5 [0035] In der Fig. 4 ist die periodische Rechteckfunktion $M(x)$ die Summe der $N = 3$ Rechteckfunktionen, die in den Fig. 3a bis 3c dargestellt sind. Die Rechteckfunktion R_1 weist in diesem Beispiel eine Phasenverschiebung $\phi_1 = 0^\circ$ auf, daher ist die Summe $M(x) = R_1(x) + R_2(x + \phi_2) + R_3(x + \phi_3)$.

- [0036] Das Verhältnis der Impulsbreite t der Rechteckimpulse R zur Periodenlänge T heisst Tastverhältnis t/T . Wenigstens eine Rechteckfunktion R weist ein Tastverhältnis von höchstens 6% auf, beispielsweise die Rechteckfunktion $R_3(x)$ in der Darstellung der Fig. 3c. In einer Ausführung ist diese kleinste Impulsbreite t der Mesastruktur 2 höchstens ein Fünftel der Wellenlänge λ des einfallenden sichtbaren Lichts.

- [0037] Die Phasenverschiebungen $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ und die Impulsbreiten t_1, t_2, t_3, \dots sind so bestimmt, dass einerseits in der resultierenden Rechteckfunktion $M(x)$ der Mesastruktur 2 nur ein einziges Tal 4 zwischen zwei Hochebenen 5 eine grösste Weite w grösser als ein Siebtel der Periode T aufweist. Andererseits misst wenigstens ein Tal 4 eine kleinste

- 15 Weite w von höchstens einem Fünftel der Wellenlänge λ .
[0038] Eine kleinste Strukturbreite der Mesastruktur 2 ist, fabrikatorisch bedingt, nicht zu unterschreiten. Mit der kleinsten Strukturbreite ist der kleinste der Werte der in der Mesastruktur 2 angeordneten Impulsbreiten t und Weiten w bezeichnet. Die kleinste fabrikatorisch beherrschbare Strukturbreite hängt von der geometrischen Profilhöhe h_G ab, da ein Abformen der kleinsten Strukturbreite von mehr als der Hälfte der geometrischen Profilhöhe h_G grosse fabrikatorische Abformungsschwierigkeiten bereitet. Die heute technisch erreichbare kleinste Strukturbreite beträgt etwa 50 nm bei einer geometrischen Profilhöhe h_G bis zu 100 nm.

- [0039] Durch die oben erwähnten Bedingungen ist die Anzahl N der die Funktion $M(x)$ bildenden Rechteckfunktionen $R(x)$ nach oben durch die Periodenlänge T und die kleinste Strukturbreite auf etwa 10 beschränkt, wobei bevorzugt N im Bereich 3 bis und mit 5 liegt.

- 25 [0040] In einer Ausführung der Mesastruktur 2 mit der Periode T ist einerseits die Summe der Impulsbreiten t aller Hochebenen 5 in der einen Halbperiode $T/2$ grösser als die Summe der Weiten w aller Täler 4 in der gleichen Halbperiode $T/2$ und andererseits ist in der zweiten Halbperiode $T/2$ die Summe der Impulsbreiten t aller Hochebenen 5 kleiner als die Summe der Weiten w aller Täler 4 der zweiten Halbperiode $T/2$. Jede Halbperiode $T/2$ umfasst wenigstens ein Tal 4 und eine Hochebene 5. Eine solche Mesastruktur 2 weist ein asymmetrisches Beugungsverhalten auf und lenkt das einfallende Licht asymmetrisch in die verschiedenen Beugungsordnungen ab. Der asymmetrischen Mesastruktur 2 ist eine ausgezeichnete Richtung (Gittervektor) zugeordnet, die durch einen in der Ebene 6 gelegenen, senkrecht zu den Tälern 4 gezeichneten Pfeil 19 (Fig. 1) markiert ist.

- [0041] Die oben beschriebenen Mesastrukturen 2 weisen mikroskopische und submikroskopische Strukturen auf, d. h. Strukturbreiten kleiner als die Wellenlänge λ des Lichtes. Die Skalartheorie kann für solche Strukturen nicht einmal mehr qualitativ das Beugungsverhalten der submikroskopischen Mesastruktur 2 beschreiben. Nur eine Anwendung der exakten elektromagnetischen Theorie und genaue Berechnungen, wie sie z. B. im Buch "Electromagnetic Theory of Gratings" von R. Petit, Herausgeber, Springer-Verlag, Heidelberg 1980 enthalten sind, vermögen mit einem grossen Rechenaufwand das Beugungsverhalten der Mesastrukturen 2 mit submikroskopischen Strukturen zu beschreiben. Die Skalartheorie versagt, weil das Verhalten des Lichts für die TE- und TM-polarisierten elektromagnetischen Wellen beim Einfall auf die binäre Gitterstruktur völlig verschieden ist.

- 40 [0042] Im Falle der TE-Polarisation, bei der das elektrische Feld parallel zu den Tälern 4 der Mesastruktur 2 ausgerichtet ist, fliessen so starke Oberflächenströme in der Reflexionsschicht 11 (Fig. 2a) bzw. in der Grenzschicht 14 (Fig. 2b), dass die Mesastruktur 2 wie ein Spiegel wirkt. Heuristisch gesagt, dringt das Feld der TE-polarisierten Wellen nicht in die Täler 4 der Mesastruktur 2 ein und erfährt daher die Wirkung der Mesastruktur 2 nicht. Im Falle der TM-Polarisation, bei der das elektrische Feld senkrecht zu den Tälern 4, also in Richtung des Pfeils 19 (Fig. 1) der Mesastruktur 2 ausgerichtet ist, werden die Oberflächenströme in der Schicht 11 bzw. 14 nicht so leicht erzeugt. Das elektrische Feld der TM-Wellen kann daher in die Tiefe der Täler 4 vordringen und wird durch die Mesastruktur 2 so beeinflusst, dass die TM-Wellen gebeugt werden.

- 50 [0043] Die lichtbeugenden binären Gitterstrukturen, die als Profil die asymmetrischen Mesastrukturen 2 mit den submikroskopischen Strukturelementen aufweisen, zeigen bei der Beleuchtung mit senkrecht auf die Mesastrukturen 2 einfallendem Licht aussergewöhnliche Beugungseigenschaften. Das einfallende Licht wird hauptsächlich in eine einzige Beugungsordnung gebeugt, während das gebeugte Licht in den übrigen Beugungsordnungen nur geringe, visuell kaum wahrnehmbare Intensitäten aufweist. In den Fig. 5a bis 5c sind als Beispiel die Rechteckfunktionen $M(x)$ von drei Mesastrukturen 2 mit einer Periode von $T = 2 \mu\text{m}$ über zwei Perioden T dargestellt. Auf der Abszisse ist die Wegstrecke x in Mikrometer in Richtung des Pfeils 19 abgetragen, während auf der Ordinate die geometrische Profilhöhe h_G in Nanometer angegeben ist. Die binären Gitterstrukturen sind in einem Laminat aus Kunststoff (Brechungsindex $n = 1,5$) gemäss der Fig. 2a eingebettet, wobei die Reflexionsschicht 11 (Fig. 2a) durch eine etwa 40 nm bis 70 nm dicken Schicht aus Aluminium gebildet ist, die die Mesastruktur 2 definiert. Für Licht mit Wellenlängen im Bereich von $\lambda = 435 \text{ nm}$ (blau) bis 550 nm (grün) sind die nachstehend beschriebenen Polarisations- und/oder Kontrasteffekte ausgeprägter als für längere

- 60 Wellenlängen.
[0044] Die Prüfung auf den Einfluss der Polarisationsvermögens der Gitterstruktur erfolgt dadurch, dass, wie in der Fig. 6a gezeigt, ein Polarisationsfilter 20 aus dem auf ein Flächenmuster 21 einfallenden Licht 22 die unerwünschten, transversalen elektrischen bzw. magnetischen Wellen ausfiltert. Das Polarisationsfilter 20 ist mit der gleichen Wirkung auch zwischen der Gitterstruktur und dem Auge eines Beobachters anzuordnen, wobei das gebeugte Licht 23, 23', 24, 24' gefiltert wird.

Beispiel 1

[0045] Die binäre Gitterstruktur in der Fig. 5a weist das Profil der Mesastruktur 2 auf, deren beschreibende Funktion $M(x)$ aus den $N = 5$ Rechteckfunktionen $R(x)$ der Tabelle 1 zusammengesetzt ist. Die ausgezeichnete Richtung der Gitterstruktur, der Gittervektor, ist durch den Pfeil 19 angedeutet.

Tabelle 1

Rechteckfunktion	Impulsbreite t	Phasenverschiebung ϕ
$R1(x)$	75 nm	45°
$R2(x)$	100 nm	180°
$R3(x)$	125 nm	216°
$R4(x)$	200 nm	$238\frac{1}{2}^\circ$
$R5(x)$	200 nm	324°

[0046] Die Profilhöhe h_g beträgt 90 nm und die kleinste Strukturbreite beträgt 75 nm, wobei die kleinste Strukturbreite sowohl als Impulsbreite $t = 75$ nm bei der Rechteckfunktion R1 als auch als Weite $w = 75$ nm des Tales 4 (Fig. 1) zwischen den Rechteckfunktionen R3 und R4 auftritt. Alle Impulsbreiten sind deutlich kleiner als die Wellenlängen des sichtbaren Lichts.

[0047] Die Mesastruktur 2 nach der Fig. 5a beugt bei senkrecht einfallendem Licht einen Grossteil sowohl der transversalen elektrischen Wellen (= TE-Wellen) als auch der transversalen magnetischen Wellen (= TM-Wellen) in die minus erste Beugungsordnung. Die Intensität des in die minus erste Beugungsordnung gebeugten Lichts ist deutlich, wenigstens um einen Faktor 5, grösser als die des in eine der übrigen Beugungsordnungen gebeugten Lichts senkrecht zu den Tälern 4 in Richtung des Gittervektors.

[0048] Die Fig. 6a zeigt das Flächenmuster 21, das beispielhaft aus zwei Flächenelementen 25, 26 besteht. Das rechteckige Hintergrundelement 25 ist mit der binären Gitterstruktur nach Fig. 5 so belegt, dass ihre ausgezeichnete Richtung parallel zum Pfeil 19 ausgerichtet ist. Das dreieckige Innenelement 26 weist dieselbe binäre Gitterstruktur wie das Hintergrundelement 25 auf, jedoch ist die ausgezeichnete Richtung der binären Gitterstruktur entgegengesetzt zum Pfeil 19 ausgerichtet. Fällt das Licht 22 senkrecht auf die Strukturen des Flächenmusters 21 ein, erblickt der Beobachter, der beispielsweise in die dem Pfeil 19 entgegengesetzte Richtung unter dem Beugungswinkel für die erste Beugungsordnung für die Wellenlänge $\lambda = 435$ nm (blau) bis 550 nm (grün) schaut, ein im gebeugten Licht 23 der minus ersten Beugungsordnung hell strahlendes, blaues bis grünes Hintergrundelement 25 mit einem im gebeugten Licht 24 der plus ersten Beugungsordnung schwach leuchtenden, blauen bis grünen Innenelement 26. Wird das Flächenmuster 21 in seiner Ebene um 180° gedreht, wie in der Fig. 6b dargestellt ist, vertauschen sich im Flächenmuster 21 die Intensitäten pro Flächeneinheit, die Flächenhelligkeiten, des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, d. h. das Hintergrundelement 25 lenkt nun Licht 24' (Fig. 6a) der plus ersten Beugungsordnung zum Auge des Beobachters und erscheint daher dunkel und das nun im gebeugten Licht 23' (Fig. 6a) der minus ersten Beugungsordnung betrachtete Innenelement 26 scheint hell auf. Die Polarisation des Lichts beeinflusst die beobachteten Intensitätsverhältnisse nicht, da sowohl die TE- als auch die TM-Wellen hauptsächlich in die minus erste Beugungsordnung abgelenkt werden. Verschieden dichte Rasterungen in den Zeichnungen verdeutlichen in den Fig. 6a bis 10c die Flächenhelligkeiten der beiden Elemente 25, 26 des beleuchteten Flächenmusters 21.

Beispiel 2

[0049] In der Fig. 5b folgt das Profil der asymmetrischen Mesastruktur 2 (Fig. 5a) der beschreibenden Funktion $M(x)$, die sich als Summe der $N = 5$ Rechteckfunktionen $R(x)$ aus der Tabelle 2 ergibt.

[0050] Die Profilhöhe h_g beträgt 150 nm, wobei die kleinste Strukturbreite 100 nm ist. Die kleinste Strukturbreite findet sich sowohl als Impulsbreite $t = 100$ nm bei den Rechteckfunktionen R1(x); R3(x) und R4(x) als auch als Weite $w = 100$ nm des Tales 4 (Fig. 1) zwischen den Rechteckfunktionen R5(x) und R1(x + T) der folgenden Periode T (Fig. 5a) im Profil der Mesastruktur 2.

Tabelle 2

Rechteckfunktion	Impulsbreite t	Phasenverschiebung ϕ
$R1(x)$	100 nm	18°
$R2(x)$	150 nm	$58\frac{1}{2}^\circ$
$R3(x)$	100 nm	117°
$R4(x)$	100 nm	180°
$R5(x)$	550 nm	261°

[0051] Die Mesastruktur 2 nach der Fig. 5b beugt bei senkrecht einfallendem Licht einen Grossteil der TE-Wellen in eine einzige der minus bzw. plus Beugungsordnungen und praktisch kein Licht in die übrigen Beugungsordnungen. Die Beugungseffizienz ETE in einer der übrigen Beugungsordnungen ist deutlich geringer (mindestens um einen Faktor 30) als beispielsweise die Beugungseffizienz E_{TE-1} des in die minus erste Beugungsordnung gebeugten Lichts, d. h. E_{TE-} .

$1/E_{TE} \geq 30$ bzw. $E_{TE} \geq 30$. Für die TM-Wellen ist die Beugungseffizienz E_{TM0} in der nullten Ordnung ($E_{TM0}/E_{TM} \geq 10$), da diese binäre Gitterstruktur für die TM-Wellen als Spiegel wirkt und die TM-Wellen in die nullte Beugungsordnung reflektiert.

- 5 [0052] Die Fig. 7a bis 8c zeigen die beispielhaft aus zwei Flächenelementen 25, 26 bestehenden Flächenmuster 21. Das rechteckige Hintergrundelement 25 ist mit einer symmetrischen Gitterstruktur, z. B. mit einem sinusförmigen Profil, mit dem Profil einer symmetrischen Rechteckfunktion usw., belegt. Das dreieckige Innenelement 26 weist die binäre Gitterstruktur mit der in Fig. 5b gezeigten Mesastruktur 2 (Fig. 1) auf, wobei in den Fig. 7a bis 8c die ausgezeichnete Richtung, Pfeil 19, der binären Gitterstruktur von der Spitze zur Basislinie des Innenelements 26 ausgerichtet ist. Die symmetrische Gitterstruktur des Hintergrundelements 25 weist dieselbe Periode T wie die binäre Gitterstruktur des Innenelements 26 auf und hat eine Beugungseffizienz von wenigstens 40% in eine der plus und minus ersten Beugungsordnungen.

- 15 [0053] Fällt unpolarisiertes Licht 22 (Fig. 6a) senkrecht auf die Strukturen des in der Fig. 7a gezeigten Flächenmusters 21 ein, erblickt der Beobachter, der in die dem Pfeil 19 entgegengesetzte Richtung unter dem Beugungswinkel für die erste Beugungsordnung für die Wellenlänge $\lambda = 435$ nm (blau) bis 550 nm (grün) schaut, im gebeugten Licht 23 (Fig. 6a) das Flächenmuster 21 als gleichmässig hell strahlende, blaue bis grüne Fläche, da das Hintergrundelement 25 und das Innenelement 26 die fast gleiche Beugungseffizienz aufweisen. Der Kontrast an der gemeinsamen Grenze der beiden Elemente 25, 26 verschwindet daher, und das Innenelement 26 ist auf dem Hintergrundelement 25 nicht erkennbar. Nach einer Drehung um 180° in der Ebene des in der Fig. 7a dargestellten Flächenmusters 21 hat sich das Flächenmuster 21 in der Fig. 8a im unpolarisierten Licht verändert, wobei sich das Innenelement 26 als dunkle Fläche vom Hintergrundelement 25 abhebt, da die binäre Gitterstruktur des Innenelements 26 in die plus erste Beugungsordnung nur Licht mit geringer Effizienz beugt. Das mit dem symmetrischen Beugungsgitter belegte Hintergrundelement 25 hingegen ist vor und nach der Drehung um 180° für den Beobachter in der Flächenhelligkeit unverändert.

- 20 [0054] Die Fig. 7b und 8b zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem Licht, wobei die TM-Wellen durch das Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. In der Fig. 7b erstrahlt das Innenelement 26 im ungeschwächten gebeugten Licht 23 (Fig. 6a) der minus ersten Beugungsordnung, während aus dem gebeugten Licht, das vom Hintergrundelement 25 (Fig. 6a) gebeugt wird, der Anteil der TM-Wellen eliminiert ist und die Flächenhelligkeit des Hintergrundelements 25 daher abgeschwächt ist. Nach der Drehung des Flächenelements 21 in seiner Ebene um 180° weist das Hintergrundelement 25 die gleiche Flächenhelligkeit wie vor der Drehung auf. Das Innenelement 26 hingegen hat eine deutlich geringere Helligkeit als das Hintergrundelement 25, da die Intensität in der plus ersten Beugungsordnung klein ist, wie dies in Fig. 8b verdeutlicht ist.

- 25 [0055] Die Fig. 7c und 8c zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem Licht, wobei die TE-Wellen durch das Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. Unabhängig von der Orientierung 0° bzw. 180° weist das Flächenmuster 21 im Licht der TM-Wellen ein gleiches Aussehen auf. Das Hintergrundelement 25 hat in beiden Orientierungen die gleiche Flächenhelligkeit. Da die TE-Wellen ausgefiltert werden, ist die Flächenhelligkeit des Innenelements 26 in beiden Orientierungen etwa um einem Faktor 4 bis 6 deutlich schwächer als die des Hintergrundelements 25, da die binäre Gitterstruktur die TE-Wellen nur mit geringer Effizienz beugt.

- 30 [0056] Das Verhältnis der Flächenhelligkeiten im Flächenelement 21 der Fig. 8a bis 8c bleibt erhalten, unabhängig davon, ob das vom Beobachter wahrgenommene gebeugte Licht polarisiert ist oder nicht.

Beispiel 3

- 35 [0057] Die binäre Gitterstruktur der Fig. 5c weist das Profil der asymmetrischen Mesastruktur 2 (Fig. 1) mit einer Periode von $T = 2 \mu\text{m}$ auf. Das Profil der Mesastruktur 2 ist durch die Funktion $M(x)$ als Summe der $N = 3$ Rechteckfunktionen $R(x)$ der Tabelle 3.

Tabelle 3

Rechteckfunktion	Impulsbreite t	Phasenverschiebung ϕ
40 R1(x)	100 nm	$166\frac{1}{2}^\circ$
R2(x)	150 nm	202°
R3(x)	670 nm	$239\frac{1}{2}^\circ$

- 55 [0058] Die Profilhöhe h_0 beträgt 90 nm und die kleinste Strukturbreite beträgt 55 nm, wobei die kleinste Strukturbreite als Weite $w = 55$ nm des Tales 4 (Fig. 1) zwischen den Rechteckfunktionen $R2(x)$ und $R3(x)$ der gleichen Periode T (Fig. 1) vorkommt.

- 60 [0059] Die Mesastruktur 2 nach Fig. 5c beugt das senkrecht einfallende Licht 22 (Fig. 6a) bevorzugt in die beiden ersten Beugungsordnungen. Der Anteil des in die übrigen Beugungsordnungen gebeugten Lichts ist wesentlich geringer. Die Beugungseffizienz der Mesastruktur 2 für linear polarisierte TE-Wellen ist in der negativ ersten Beugungsordnung, E_{TE-1} , wenigstens doppelt so gross ist wie in der positiv ersten Beugungsordnung, E_{TE+1} . Hingegen ist die Beugungseffizienz der Mesastruktur 2 für linear polarisierte TM-Wellen in der positiv ersten Beugungsordnung, E_{TM+1} , wenigstens doppelt so gross wie in der negativ ersten Beugungsordnung, E_{TM-1} . Der höhere Wert der Beugungseffizienzen in der ersten Beugungsordnung ist sowohl für die TE als auch für die TM-Wellen wenigstens 20 mal grösser als die Intensitäten des gebeugten Lichts in einer der übrigen Beugungsordnungen, wobei idealerweise $E_{TE-1} + E_{TM-1} \approx E_{TM+1} + E_{TE+1}$ ist.

- 65 [0060] Die Fig. 9a bis 10c zeigen die beispielhaft aus zwei Flächenelementen 25, 26 bestehenden Flächenmuster 21. Wie im Beispiel 1 weisen das rechteckige Hintergrundelement 25 und das dreieckige Innenelement 26 die gleiche binäre Gitterstruktur mit Profil der Mesastruktur 2 (Fig. 1) gemäss der Fig. 5c auf. In den Fig. 9a bis 10c ist die ausgezeichnete

Richtung dieser binären Gitterstruktur im Hintergrundelement 25 parallel zum Pfeil 19 und im Innenelement 26 von der Basislinie zur Spitze des Innenelements 26 ausgerichtet, d. h. die ausgezeichneten Richtungen der binären Gitterstruktur im Hintergrundelement 25 und im Innenelement 26 sind einander entgegengesetzt.

[0061] Fällt unpolarisiertes Licht 22 (Fig. 6a) senkrecht auf die Strukturen des in der Fig. 9a gezeigten Flächenmusters 21 ein, erblickt der Beobachter im gebeugten Licht 23 (Fig. 6a), 24 (Fig. 6a) das Flächenmuster 21 als gleichmässig hell strahlende, blaue bis grüne Fläche, unabhängig davon ob er unter dem Beugungswinkel für die erste Beugungsordnung für die Wellenlänge $\lambda = 435$ nm (blau) bis 550 nm (grün) in die dem Pfeil 19 entgegengesetzte Richtung oder, wie in der Fig. 10a gezeigt, in der Richtung des Pfeils 19 schaut. Die Beugungseffizienz der Gitterstruktur im Hintergrundelement 25 und im Innenelement 26 sind für unpolarisiertes Licht in den beiden ersten Beugungsordnungen in etwa gleich. Daher verschwindet der Kontrast an der gemeinsamen Grenze 27 der beiden Elemente 25, 26 in beiden azimutalen Orientierungen 0° und 180° und das Innenelement 26 ist in der Fläche des Hintergrundelements 25 nicht erkennbar.

[0062] Die Fig. 9b und 10b zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem Licht, wobei die TM-Wellen durch das Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. In der Fig. 9b erstrahlt das Innenelement 26 im ungeschwächten gebeugten Licht 23 (Fig. 6a) der minus ersten Beugungsordnung. Die Flächenhelligkeit des Hintergrundelements 25 hingegen ist um rund zwei Drittel reduziert, da nur noch die Beugungseffizienz E_{TE+1} der plus ersten Beugungsordnung wirksam ist, da durch das Polarisationsfilter 20 der Anteil der TM-Wellen eliminiert ist. Das Innenelement 26 weist somit eine grössere Flächenhelligkeit als das Hintergrundelement 25 auf. Nach der Drehung des Flächenelements 21 in seiner Ebene um 180° vertauschen sich die Flächenhelligkeiten des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, wie dies beim Wechsel von der Fig. 9b zur Fig. 10b aus der Darstellung ersichtlich ist.

[0063] Die Fig. 9c und 10c zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem Licht, wobei die TE-Wellen durch das um 90° in seiner Ebene gedrehte Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. Durch das Drehen des Polarisationsfilters um jeweils 90° vertauschen sich die Flächenhelligkeiten des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, so dass die Darstellung der Fig. 9b in die Darstellung der Fig. 9c und Darstellung der Fig. 10b in die Darstellung der Fig. 10c übergeht.

[0064] Auch durch das Drehen des Flächenmusters 21 in seiner Ebene in die Stellungen 0° und 180° vertauschen sich die Flächenhelligkeiten des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, so dass die Darstellung der Fig. 9c in die Darstellung der Fig. 10c übergeht.

[0065] In einer Ausführung des Flächenelements 21 sind die Innenelemente 26 als alphanumerische Zeichen, z. B. eines Textes, oder als Barcode ausgebildet, die im polarisierten Licht auf dem Hintergrundelement 25 sichtbar sind, im üblichen unpolarisierten Tageslicht jedoch nicht erkennbar sind.

[0066] Durch die Beugungsstrukturen, die in den in Fig. 7a bis 10c dargestellten Kombinationen verwendet sind, lassen sich im Flächenmuster 21 von der Ausrichtung zum Beobachter und der Polarisation abhängige Muster erzeugen, bei denen der Kontrast an gemeinsamen Grenzen 27 (Fig. 6b) auffällig ist bzw. verschwindet.

[0067] In einer Ausführung der Fig. 6b ist im Flächenmuster 21 wenigstens ein Flächenelement 25 mit einer binären Gitterstruktur im Mosaik der Flächenelemente 26, 28, 29, 30 so angeordnet, dass in einer vorbestimmten Beugungsordnung wenigstens in einer Azimutrichtung ϕ die Summe der Beugungseffizienzen, $E_{TE} + E_{TM}$, für elektrische und magnetische transversale Wellen des Flächenelements 25 im wesentlichen gleich der Summe der Beugungseffizienzen, $E_{TE} + E_{TM}$, für elektrische und magnetische transversal Wellen des an das Flächenelement 25 angrenzenden Flächenelements 26 ist, so dass unter dem vorbestimmten Beugungswinkel die Farbe und die Flächenhelligkeiten der beleuchteten Flächenelemente 25, 26 gleich sind und der Kontrast an der gemeinsamen Grenze 27 der beiden Flächenelemente 25, 26 verschwindet. Dieses kennzeichnende Verhalten des Flächenmusters 21 ist ein Echtheitsmerkmal für Sicherheitsselemente, das typischerweise bei holographischen Kopien fehlt. Die Kopien sind daher als solche erkennbar.

[0068] Wie am Beispiel der Fig. 6a gezeigt ist, umfasst das Flächenmuster 21 nur der Einfachheit halber die beiden Elemente 25, 26. In einer praktischen Ausführung umfasst das Flächenmuster 21 gemäss Fig. 6b eine grosse Anzahl von weiteren Flächenelementen 28 bis 30, die zur Erzeugung des gewünschten Flächenmusters 21 neben den obengenannten Beugungsstrukturen irgendwelche Beugungsstrukturen, spiegelnde bzw. streuende Strukturen oder absorbierende Oberflächen aufweisen.

[0069] In der Fig. 11 ist das Flächenmuster 21 mit den beiden Flächenteilen 25, 26 gezeigt. Beispielsweise weist das binäre Gitter des Flächenelements 25 die höhere Beugungseffizienz als das Flächenelement 26 auf. Damit der Kontrast an der gemeinsamen Grenze 27 zwischen den Flächenteilen 25, 26 des Flächenmusters 21 in den oben beschriebenen Beispielen 2 und 3 unter vorbestimmten Beobachtungsbedingungen optimal verschwindet, müssen die Flächenhelligkeiten beider Flächenteile 25, 26 aufeinander exakt abgestimmt werden. Dazu wird mit Vorteil wenigstens der Flächenanteil des binären Gitters mit der höheren Beugungseffizienz, hier innerhalb des Flächenelements 25, verringert, um so die Flächenhelligkeit des Flächenelements 25 abzuschwächen und dem anderen, lichtschwächeren Flächenelement 26 optimal anzupassen. Eine Verkleinerung des Flächenanteils der Gitterstruktur im Flächenelement 25 erfolgt durch ein wenigstens längs der gemeinsamen Grenze 27 regelmässiges Linien- oder Punktraster von kleinsten Rasterflächen 31. Die Rasterflächen 31 sind z. B. mit Beugungsstrukturen belegt, die ihr gebeugtes Licht in eine andere Richtung als die Gitter der Flächenelemente 25 und 26 ablenken. Nicht alle der Rasterflächen 31 innerhalb des Flächenelements 25 bzw. 26 müssen dieselbe optische Aktivität aufweisen. Die Rasterflächen 31 weisen je nach Erfordernis des Flächenmusters 21 anstelle der Beugungsaktivität auch andere optische Aktivitäten auf, wie sie durch streuende Strukturen oder absorbierende oder spiegelnde Flächen erzeugt werden. Die Dichte und der Anteil der Rasterflächen 31 entspricht der erforderlichen Schwächung der Flächenhelligkeit des Flächenelements 25, da die Gesamtheit der Rasterflächen 31 zu der über das Flächenelement 25 gemittelten Beugungseffizienz der binären Gitterstruktur nichts beiträgt. Die gemittelte Beugungseffizienz ist daher kleiner. Wenigstens eine Abmessung der Rasterflächen 31 ist mit Vorteil kleiner als 0.3 mm, damit das menschliche Auge das Raster unter normalen Sichtbedingungen nicht bemerkt. Es ist nochmals anzumerken, dass das Raster in den Darstellungen der Fig. 6a bis 10c nur zur Unterscheidung der Flächenhelligkeiten mit zeichnerischen Mitteln dient.

[0070] In einer Ausführung sind die Strukturen der Rasterflächen 31 die eines eine Information enthaltenden Kinoforms oder Fourierhologramms. Nur bei einer monochromatischen Beleuchtung des diese Rasterflächen 31 aufweisen-

den Flächenelementen, so dass die Information auf einem Schirm sichtbar gemacht und gelesen werden.

[0071] Die Beugungsstrukturen vom Typ der oben beschriebenen Mesastrukturen 2 (Fig. 1) weisen den Vorteil auf, dass sie sich mit den bekannten holographischen Mitteln nicht kopieren lassen.

[0072] Die Fig. 12 zeigt eine Gitterstruktur über der Ebene x/y , die durch eine binäre Gitterfunktion G aus zwei einander überlagerten Rechteckfunktionen $M(x)$ und $M(y)$ bestimmt ist, deren Täler 4 (Fig. 1) sich unter einem Kreuzungswinkel θ schneiden. Die Perioden T der beiden Rechteckfunktionen $M(x)$ und $M(y)$ sind nicht notwendigerweise gleich. Die beiden Rechteckfunktionen $M(x)$ und $M(y)$ dehnen sich unabhängig voneinander längs der Abszisse x bzw. y aus. In einer Ausführung erstreckt sich beispielsweise in Richtung der Abszisse x die Rechteckstruktur $M(x)$ bzw. $M(y)$ in das an das Flächenelement 25 mit der Gitterstruktur G angrenzende Flächenelement 26 (Fig. 6a), das demzufolge mit der Rechteckstruktur $M(x)$ bzw. $M(y)$ belegt ist. Die die Täler 4 verfüllende Lackschicht 10 (Fig. 2a) und weitere Schichten sind aus zeichnerischen Gründen weggelassen worden. Der Beobachter erblickt auf dem beleuchteten Flächenmuster 21 (Fig. 6a) unter dem vorbestimmten Beugungswinkel die Muster mit den Kontrastunterschieden unter den Azimutwinkeln ϕ mit den Werten 0° , θ° , 180° und $180^\circ + \theta^\circ$, wobei die ausgezeichnete, durch den Pfeil 19 (Fig. 1) angegebene Richtung den Azimutwinkel 0° und θ den Kreuzungswinkel der beiden Funktionen $M(x)$ und $M(y)$ bzw. Koordinaten x , y bezeichnet. Aus technischen Gründen ist der Bereich der Werte für den Kreuzungswinkel θ auf den Bereich 30° bis 150° beschränkt.

Patentansprüche

1. Lichtbeugende binäre Gitterstruktur mit einer mikroskopischen Mesastruktur (2), deren Hochebenen (5) durch Täler (4) mit einem im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt getrennt sind, wobei sich die Anordnung der Täler (4) periodisch wiederholt, **dadurch gekennzeichnet**, dass innerhalb einer Periode (T) der Mesastruktur (2) wenigstens N Täler (4) die N Hochebenen (5) trennen, wobei N eine ganze Zahl und grösser als 2 ist,
- 25 dass die Mesastruktur (2) eine additive Überlagerung von N phasenverschobenen Rechteckstrukturen (R) mit der Periode (T) der Mesastruktur (2) ist, wobei die Rechteckstrukturen (R) gegeneinander eine Phasenverschiebung (ϕ_1 ; ϕ_2 ; ...) derart aufweisen, dass die Hochebenen (5) der einen Rechteckstruktur (R) in die Täler der $N-1$ andern Rechteckstrukturen (R) fallen, und
- 30 dass in der resultierenden Mesastruktur (2) wenigstens ein Tal (4) zwischen zwei Hochebenen (5) eine Breite grösser als ein Siebtel der Periode (T) aufweist.
2. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Periode (T) der Mesastruktur (2) einen Wert im Bereich 250 nm bis 5'000 nm aufweist.
3. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Periode (T) der Mesastruktur (2) grösser als eine Wellenlänge λ aus dem Spektrum des sichtbaren Lichts ist.
- 35 4. Gitterstruktur nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die kleinste Strukturbreite der Mesastruktur (2) weniger als ein Fünftel der Wellenlänge λ ist.
5. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der geometrische Höhenunterschied (h_G) innerhalb der Mesastruktur (2) einen Wert im Bereich von 25 nm bis 5000 nm aufweist.
6. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Periode (T) der Mesastruktur (2) in einer Richtung parallel zu den Tälern (4) so ändert, dass die Täler (4) divergieren oder mändern.
- 40 7. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Täler (4) zueinander parallel sind.
8. Gitterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Verteilung der Hochebenen (5) innerhalb einer Periode (T) der Mesastruktur (2) asymmetrisch ist, wobei in der einen Halbperiode die Summe der Impulsbreiten ($t_{1,2}, \dots$) aller Hochebenen (5) grösser ist als die Summe der Weiten w aller Täler (4) und in der andern Halbperiode die Summe der Impulsbreiten ($t_{1,2}, \dots$) aller Hochebenen (5) kleiner ist als die Summe der Weiten w aller Täler (4).
- 45 9. Gitterstruktur nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) durch eine binäre Gitterfunktion (G) aus zwei einander überlagerten Rechteckfunktionen $M(x)$ und $M(y)$ bestimmt ist, deren Täler (4) sich unter einem Winkel (A) schneiden.
- 50 10. Gitterstruktur nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) derart ausgebildet ist, dass bei einer senkrecht einfallenden Beleuchtung (22) ein Grossteil des gebeugten Lichts (23; 23'; 24; 24') sowohl der transversalen elektrischen Wellen als auch der transversalen magnetischen Wellen in eine einzige, negative oder positive Beugungsordnung einer vorbestimmten Ordnung abgelenkt ist.
- 55 11. Gitterstruktur nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) derart ausgebildet ist, dass bei einer senkrecht einfallenden Beleuchtung (22) ein Grossteil des gebeugten Lichts (23; 23'; 24; 24') aus transversalen elektrischen Wellen besteht, das asymmetrisch in eine einzige, negative oder positive Beugungsordnung einer vorbestimmten Ordnung abgelenkt ist, während für transversale magnetische Wellen die Beugungseffizienz (E_{TM}) in allen Beugungsordnungen um wenigstens eine Grössenordnung kleiner ist als die Beugungseffizienz (E_{TM0}) in der nullten Beugungsordnung.
- 60 12. Gitterstruktur nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) derart ausgebildet ist, dass bei einer senkrecht einfallenden Beleuchtung (22) die Beugungseffizienz von transversalen elektrischen Wellen in der negativen Beugungsordnung einer vorbestimmten Ordnung wenigstens doppelt so gross ist wie die Beugungseffizienz in der positiven Beugungsordnung der gleichen Ordnung und in der gleichen Ordnung die Beugungseffizienz von transversalen magnetischen Wellen in der positiven Beugungsordnung wenigstens doppelt so gross ist wie die Beugungseffizienz in der negativen Beugungsordnung.
- 65 13. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) in ein Laminat (8) aus Kunststoff eingebettet ist, wobei die Mesastruktur (2) in eine Basisschicht (17) abgeformt und mit einer die Täler (4) verfüllenden Schutzschicht (13; 16) überzogen ist, und dass die Grenzschicht (11; 14) zwischen der Basisschicht

(17) und der Schutzschicht (16) durch einen Sprung im Brechungsindex der Mosaikflächen definiert ist.

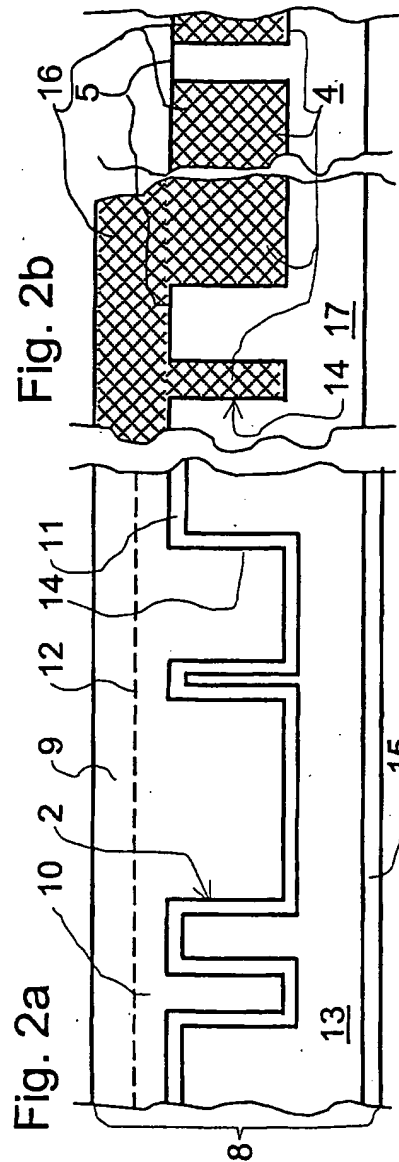
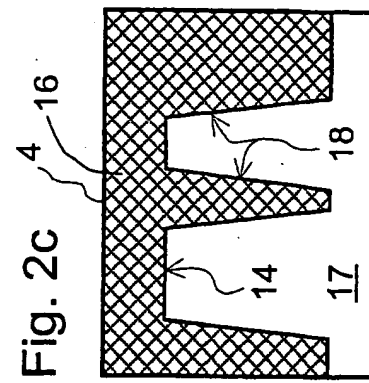
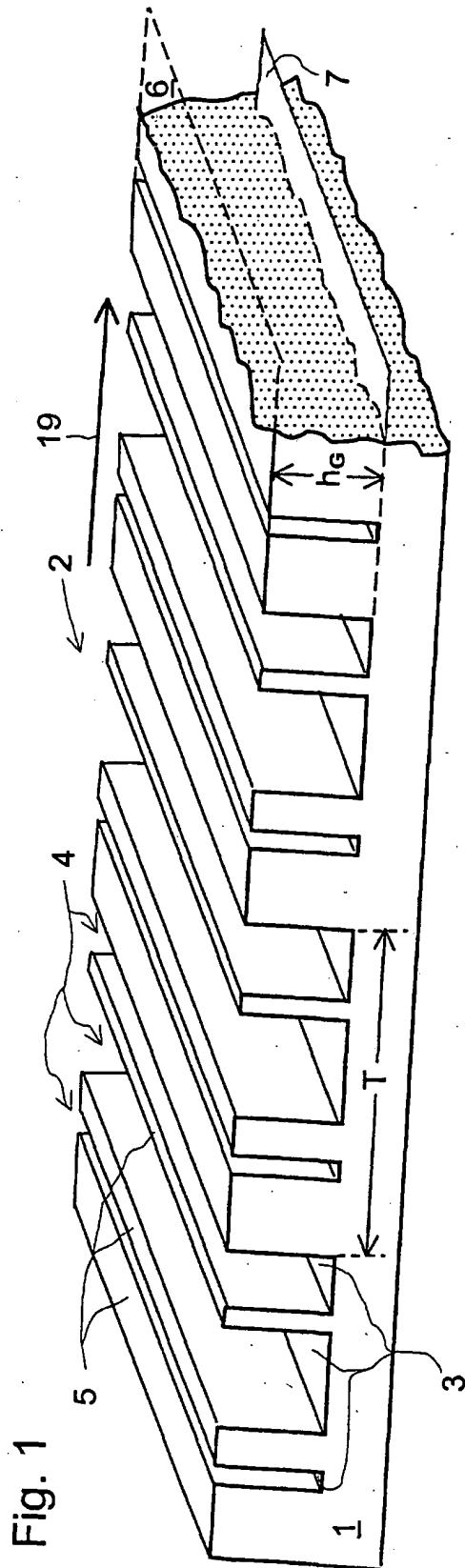
14. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die MESAstruktur (2) in eine Metalloberfläche abgeformt und optional mit einer die Täler (4) verfüllenden Schutzschicht (16) ausgerüstet ist.

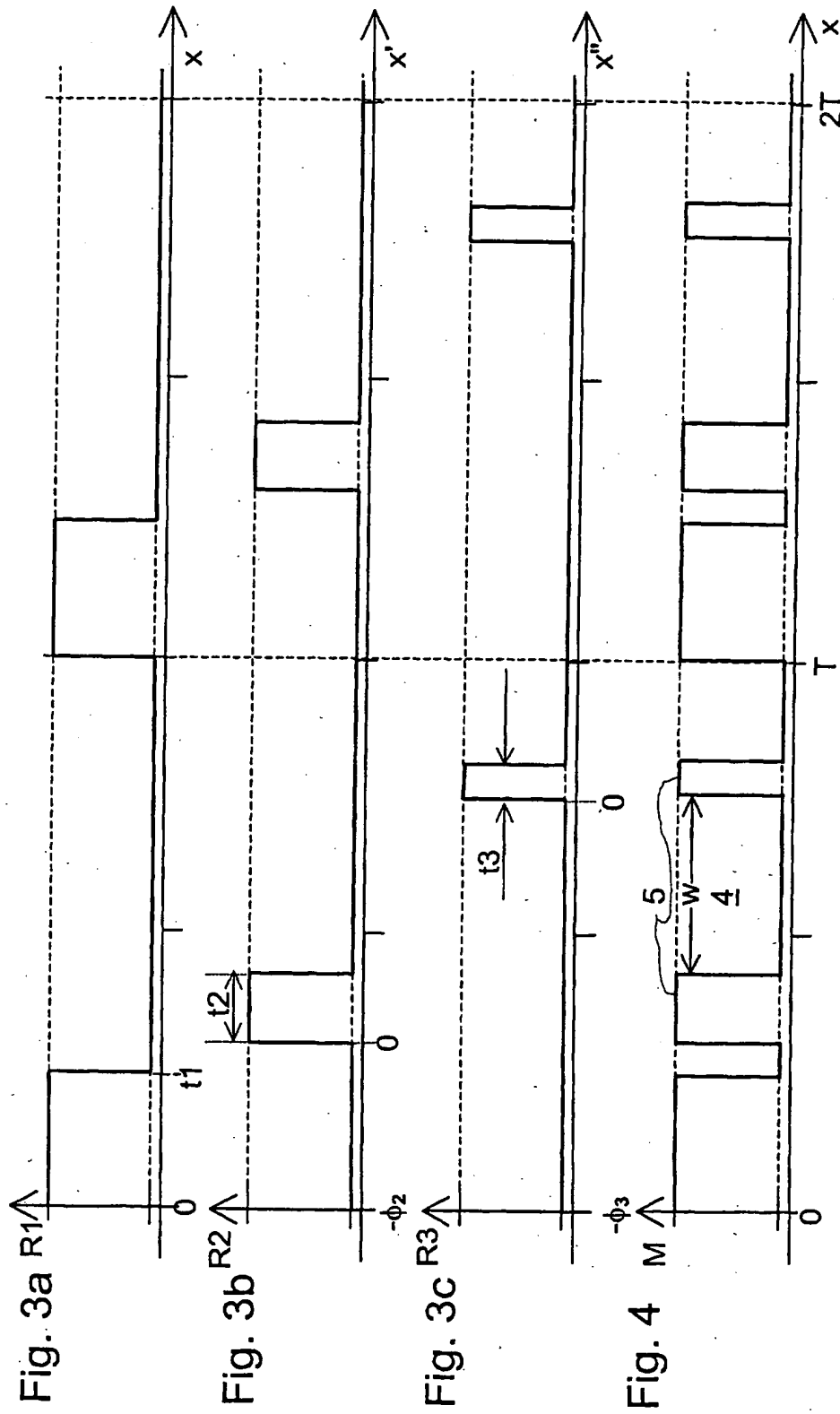
15. Verwendung von lichtbeugenden binären Gitterstrukturen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein erstes Flächenelement (25) mit einer binären Gitterstruktur im Mosaik von Licht (22) beugenden Flächenelementen (26; 28, 29; 30) eines visuell erkennbaren Flächenmusters (21) angeordnet ist, dass in wenigstens einer Azimutrichtung und in wenigstens einer Beugungsordnung die Summe der Beugungseffizienzen für elektrische und für magnetische Transversalwellen des ersten Flächenelements (25) im wesentlichen gleich der Summe der Beugungseffizienzen für elektrische und für magnetische Transversalwellen des angrenzenden zweiten Flächenelements (26) ist, dessen Beugungsstruktur die gleiche Periode (T) aufweist, und dass sich wenigstens im ersten Flächenelement (25) die Beugungseffizienzen für elektrische und für magnetische Transversalwellen unterscheiden, so dass bei einer Beleuchtung des Flächenmusters (21) mit unpolarisiertem Licht (22) unter einem vorbestimmten Beugungswinkel die Farbe und die Flächenhelligkeiten der beiden Flächenelemente (25; 26) gleich sind und der Kontrast an einer gemeinsamen Grenze (27) der beiden Flächenelemente (25; 26) verschwindet.

16. Verwendung von lichtbeugenden binären Gitterstrukturen nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterstrukturen des ersten Flächenelements (25) und des zweiten Flächenelements (26) die gleiche MESAstruktur (2) aufweisen und so im Flächenmuster (21) angeordnet sind, dass die Gittervektoren der beiden Gitterstrukturen einander entgegengesetzt gerichtet sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





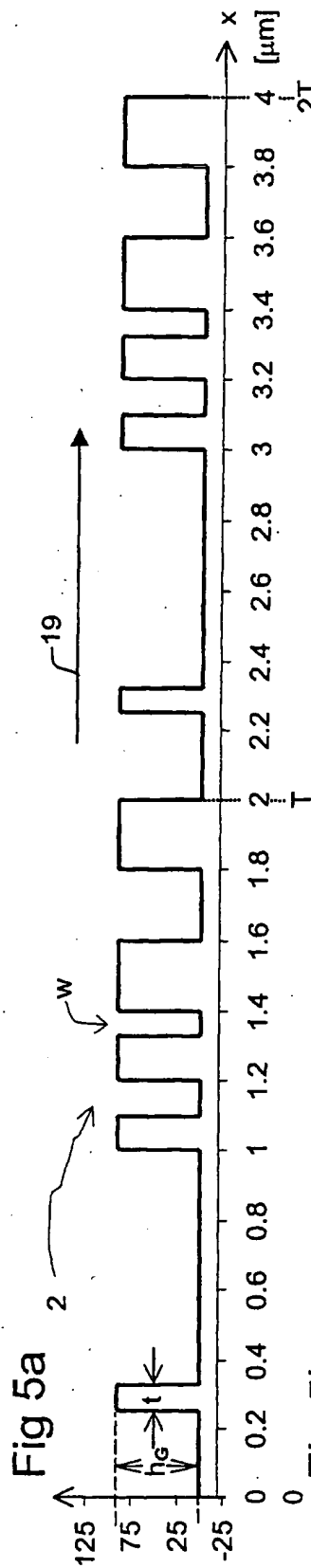


Fig 5b

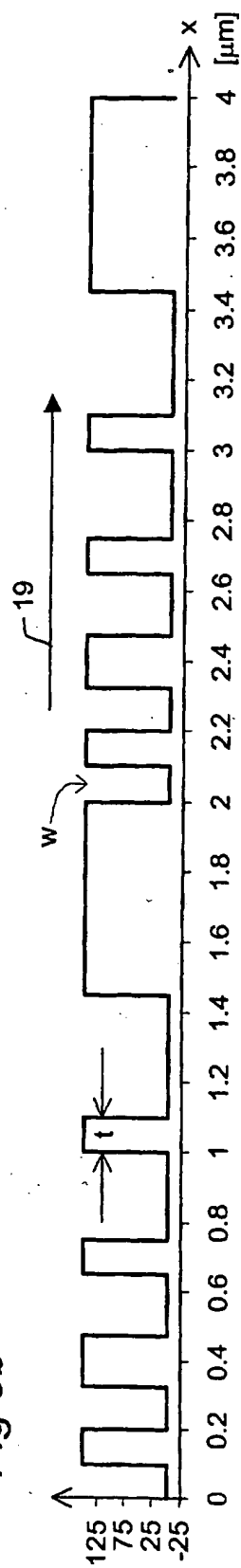
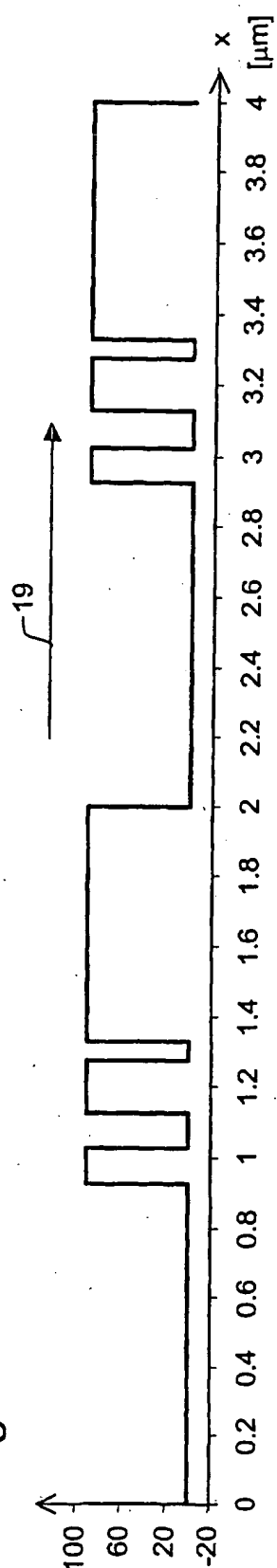


Fig 5c



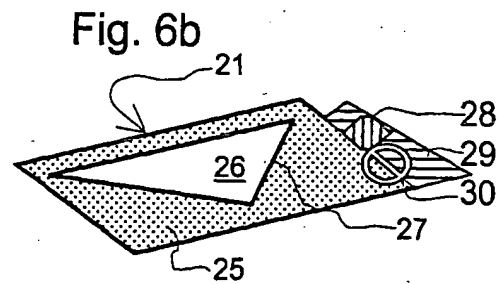
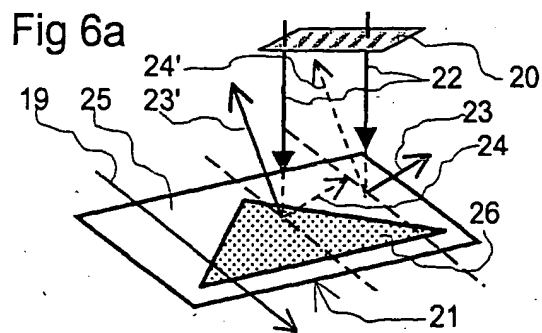


Fig. 7a

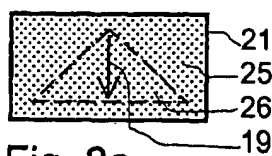


Fig. 7b



Fig. 7c



Fig. 8a

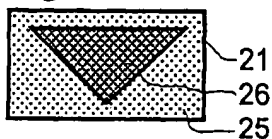


Fig. 8b

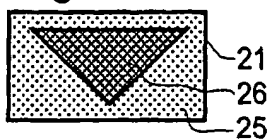


Fig. 8c

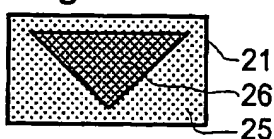


Fig. 9a

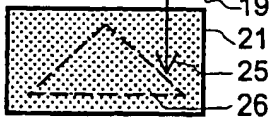


Fig. 9b

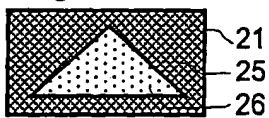


Fig. 9c

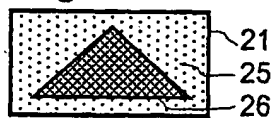


Fig. 10a

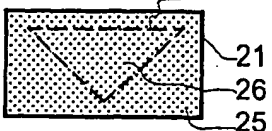


Fig. 10b

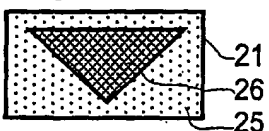


Fig. 10c

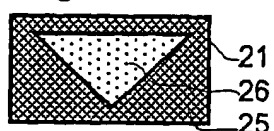


Fig. 11

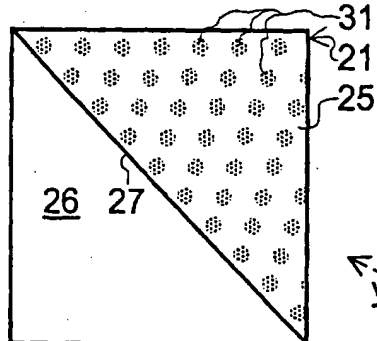


Fig. 12

